Journal of Research in Horticultural Science
پژوهش در علوم باغبانی
Vol. 3, No. 2 Autumn and Winter 2024 (150–160)
جلد ۳ شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۳ (ص ۱۶۰-۱۵۰)
10.22092/rhsj.2025.369661.1125
مقاله علمی پژوهشی
تارنمای مجله: https://rhsj.areeo.ac.ir

اثرات تنش آبی و عملیات به‌باغی بر ویژگی‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و کیفیت بادام شاهرودی رقم ۱۲

بابک مدنی[۱*]، فرزانه رضوی[۱]، سید اصغر موسوی[۱]، بیژن حقیقتی[۲]

۱- استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغبانی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

۲- استادیار، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۲۵ /۱۴۰۳/۱۲

چکیده

به منظور ارزیابی تاثیر تلفیق شیوه‌های مدیریت به‌باغی با سیستم‌های آبیاری کارآمد در افزایش عملکرد باغ‌های بادام، آزمایشی به صورت کرت‌های خردشده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات بادام مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری اجرا گردید. کرت‌های اصلی شامل مدیریت به‌باغی وکرت فرعی شامل تیمار آبیاری کامل (تأمین آب به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی برآورد شده در تمام مراحل رشدی) و تیمار آبیاری‌کم (تأمین آب فقط به میزان ۵۰ درصد از نیاز آبی برآورد شده در آبیاری) بود. رقم مورد استفاده در این پروژه ۱۲ شاهرود بود که بر روی پایه رویشی GN پیوند زده شده بود. پس از اعمال تیمارها، صفات رشدی، زایشی، فیزیولوژی و غلظت عناصر غذایی در نهال‌های تحت مطالعه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در صفات مورفولوژی طول و عرض تاج نهال، طول و قطر شاخه، و طول و عرض برگ تحت تاثیر آبیاری کم قرار گرفته و این تیمار سبب کاهش کلیه موارد ذکر شده گردید. علاوه بر این، تیمار کم‌آبیاری سبب کاهش طول و قطر میوه و عملکرد و همچنین کاهش غلظت عناصر مس، روی، آهن، منگنز، فسفر و افزایش پتاسم در برگ گردید. همچنین کم آبی سبب افزایش پرولین برگ و کاهش آب برگ گردید.

واژگان کلیدی: بادام، کم آبیاری، رشد، صفات فیزیولوژیکی، عناصر غذایی.

Effects of water stress and orchard management on morphological, physiological and quality characteristics of Shahroudi almond cultivar 12

Babak madani[1,*], Farzane Razavi[1], Seyed Asghar Mousavi[1], Bijan Haghighati[2]

1- Assistant Professor, Agricultural and Horticultural Sciences Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shahrekord, Iran.

2- Assistant Professor, Soil and Water Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Shahrekord, Iran.

Received: February 2025 Accepted: March 2025

Abstract

In order to evaluate the effect of combining orchard management practices with efficient irrigation systems on increasing yield in almond orchards, an experiment was conducted in split plots with randomized block design and three replications at almond station of the Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Chaharmahal and Bakhtiari province. The main plots included orchard management and the subplots included full irrigation treatment, supplying water at 100% of the estimated water requirement at all growth stages, and low irrigation treatment (supplying water at only 50% of the estimated water requirement for irrigation). The cultivar used in this project was Shahrood 12, grafted onto GN rootstock. After the treatment, growth, reproductive, physiological traits and nutrient concentrations were measured in the seedlings under study. The results showed that the morphological traits of tree crown length and width, branch length and diameter, and leaf length and width were affected by low irrigation and this treatment reduced all of the above factors. Also, low irrigation treatment reduced fruit length and diameter and function. Also, low irrigation treatment caused a decrease in the concentration of copper, zinc, iron, manganese, phosphorus, and an increase in potassium in the leaves. Also, low water caused an increase in leaf proline and a decrease in leaf water.

Keywords: Almond, Low Irrigation, Growth, Physiological Traits, Nutrients.

*نویسنده مسئول: babakmadani2010@gmail.com

۱- مقدمه

کشور ما از جنبه مصرف آب در کشاورزی و در صنعت و شهری، علیرغم اینکه در وضعیت خشکسالی می‌باشد جز پر مصرفان دنیا بوده به‌طوری‌که میزان مصرف آب در بخش‌های متفاوت از مصرف متوسط جهانی بالاتر است. استان چهارمحال و بختیاری از گذشته دور دارای باغ‌های بادام بسیار گسترده‌ای بوده است و تولید محصول بادام جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد منطقه و نیز درآمدهای ارزی در بحث صادرات محصول بادام داشته و دارد. متاسفانه در سال‌های اخیر با تغییر اقلیم و بروز پدیده خشکسالی، پائین آمدن سطح آب‌های زیرزمینی و از طرفی سنتی بودن روش‌های آبیاری و باغداری، باغ‌های بادام این استان با سرعت بالایی روند رو به خشکی داشته‌اند، به نحوی که تغییر اقلیم و خشکسالی‌های اخیر خسارات شدید اقتصادی به اکثر تولید کنندگان بادام وارد نموده، و باعث آثار و تبعات اقتصادی و اجتماعی تخریبی در منطقه گردیده است. به طور کلی باغ‌های بادام مانند بسیاری از باغ‌های دیگر در استان چهارمحال و بختیاری در سال‌های اخیر به دلایل مذکور و از طرفی به دلیل غلط بودن شیوه‌های مدیریت باغ‌ها و روش‌های آبیاری سنتی معیوب با هدر روی بالای آب با سرعت بالایی رو به نابودی و خشک شدن هستند که خسارات سنگینی را برای باغدار به همراه دارد. حتی در باغ‌های دارای سیستم آبیاری تحت فشار (قطره‌ای) معمولاً تعداد قطره چکان‌ها و آب خروجی از هر قطره چکان به صورت اصولی، استاندارد و کنترل شده نمی‌باشد که همگی باعث هدر روی شدید آب می‌شود. از مهم‌ترین استراتژی‌های تحقیقاتی در این زمینه بررسی انواع روش‌های نوین آبیاری با راندمان بالا و با هدر روی پایین آب در باغ‌های بادام به‌صورت تلفیقی با مدیریت به‌باغی و مطالعه تأثیر روش‌های نوین باغداری و به‌باغی، بالانس تغذیه‌ای مناسب باغ و همچنین کنترل آفات و امراض آن در بالا بردن بنیه نهال‌ها و سلامت عمومی باغ و نهایتاً تاثیر آن بر کاهش صدمات تنش خشکی بر نهال می‌باشد (رضوی، ۱۳۹۶، موسوی و همکاران، ۱۳۹۲). گیاه بادام دارای سازگاری وسیعی به شرایط آب و هوایی متفاوت در گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مختلف خود بوده، ژنوتیپ‌های مختلف به دلیل خصوصیات متفاوت ژنتیکی، مقاومت متفاوتی را در مراحل رشدی مختلف در برابر خشکی نشان می‌دهند، به گونه‌ای که نهایتاً منجر به عکس‌العمل‌های متفاوت فیزیولوژیکی و مولکولی این ژنوتیپ‌ها به خشکی می‌گردد (مقصودی، ۱۳۷۹). یکی از راه‌حل‌های مناسب در مدیریت باغ‌های تحت تنش خشکسالی، استفاده از شیوه‌های کم‌آبیاری بوده تا کارآیی مصرف آب را در باغ‌ها بهبود بخشد. در این روش آبیاری بر اساس حفظ وضعیت آبی داخل گیاه با توجه به حداکثر پتانسیل آب در مراحل ویژه‌ای از چرخه گیاه به ویژه زمانی‌که رشد میوه کمترین حساسیت را به تنش خشکی دارد، انجام می‌شود (رضوی، ۱۳۹۶). تاکنون پژوهش‌های بسیاری در مورد اثر تیمارهای خشکی و کم‌آبیاری بر رشد رویشی نهال‌های بادام صورت گرفته است. لذا تعیین مراحل غیر حساس رشدی میوه بادام به کسر آبیاری تنظیم شده به ویژه در شرایط کشت تجاری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (علیمحمدی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج مطالعه‌ای بر روی نیاز آبی زیتون نشان داد که تأمین آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی نهال در طول مدت سخت شدن هسته باعث افزایش عملکرد میوه و روغن، ابعاد میوه و درصد گوشت میوه گردید و نیز تأمین آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی در مرحله تغییر رنگ میوه باعث افزایش درصد روغن در ماده تر و خشک و عملکرد روغن در هکتار گردید (غلامی و حاجی امیری، ۱۳۹۷). آزمایش دیگر در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۴ با هدف بررسی اثر پایه‌های رویشی سیب و مقادیر مختلف آبیاری بر میزان رشد، باردهی و کیفیت میوه سیب رقم گلدن دلیشس اجرا شد. پایه‌های رویشی سیب شامل M،۱۱۱MM ۲۶ و ۱۰۶MM و مقادیر مختلف آبیاری شامل ۱۰۰درصد، ۷۵ درصد و ۵۰ درصد بر اساس میزان تبخیر از تشتک تبخیر تعیین گردید. نتایج نشان داد که اثر پایه بر صفاتی نظیر رشد رویشی سالیانه معنی‌دار بود. اثر مقدار آب آبیاری بر روی صفاتی نظیر مواد جامد محلول ، وزن میوه و میزان رشد رویشی سالیانه معنی‌دار بود. بیشترین میزان مواد جامد محلول مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی، بالاترین میزان رشد رویشی در تیمار ۱۰۰ درصد و بیشترین وزن میوه به میزان ۱۳/۶ گرم از تیمار ۱۰۰درصد حاصل شد. کارآیی مصرف آب در تمام تیمارها با کاهش مصرف آب و اعمال کم آبیاری افزایش نشان داد و در پایه MM ۱۱۱ با اعمال ۵۰ درصد کم

آبیاری، بیشترین بود. به طور کلی این نتایج تأثیر مثبت کم‌آبیاری در صرفه جویی در مصرف آب و از طرفی عدم تأثیر منفی بر صفات کمی و کیفی میوه در سیب را نشان می‌دهد (حسنی و همکاران، ۱۳۸۸). از طرفی در مطالعه‌ای که توسط علیمحمدی و همکاران (۱۳۹۱)، طی سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۰ در بادامستان امامیه در شهرستان سامان در استان چهار محال و بختیاری انجام شد، اثر کم آبیاری در مراحل مختلف رشد و توسعه میوه بادام بر میزان عناصر و عملکرد بادام رقم مامایی بررسی شد. نتایج نشان داد که تنش آبی و کم آبیاری در مرحله اول رشد میوه، باعث کاهش معنی‌دار در اندازه میوه و وزن تر و خشک میوه شده و در مرحله دوم، وزن تر میوه و وزن تر و خشک مغز کاهش یافت. موسوی و همکاران (۱۳۸۸)، اثر کم آبیاری و تنش ملایم خشکی در طی مراحل مختلف فنولوژیکی رشد و نمو میوه بر عملکرد بادام رقم مامایی، را انجام دادند. نتایج نشان داد که در مرحله پس از برداشت، با کاهش آب آبیاری میزان تراکم گل و درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در سال بعد کاهش یافت و در نهایت باعث کاهش عملکرد محصول در سال بعد گردید. این نتایج همچنین نشان دهنده تاثیرات منفی تنش خشکی بر صفات رشدی بادام می‌باشد. در مطالعه‌ای دیگر با هدف تعیین بهترین شاخص‌های قابل اندازه‌گیری تنش خشکی در سیستم‌های کم‌آبیاری در آلو، شاخص‌های مختلف فیزیولوژیکی بررسی شدند که نتایج این مطالعه نشان داد دو پارامتر پتانسیل آب برگ و پتانسیل آب ساقه، بهترین شاخص‌های فیزیولوژیکی نشانگر تنش خشکی و قابل استفاده به عنوان مارکرهای پیش‌بینی میزان محصول نسبت به کم‌آبیاری در باغ‌های آلو می‌باشند (Intrigliolo and Castel, 2006). در مطالعه‌ای در باغ‌های بالغ تجاری بادام کالیفرنیا، تاثیر کم‌آبیاری و رژیم‌های آبیاری مختلف با ایجاد تنش ملایم خشکی در زمان‌های رشدی مختلف بر محصول بادام بررسی گردید. نتایج این مطالعه، بیانگر تأثیر منفی تنش خشکی در مرحله پس از برداشت بر گل انگیزی و تمایز جوانه‌های گل بادام برای سال بعد زراعی بوده، در حالی که بیشترین میزان محصول (سایز میوه و تعداد میوه) در شرایط کم‌آبیاری ملایم و یکنواخت در کل فصل رشد بدست آمد (Goldhamer *et al.*, 2006). تاثیر کم‌آبیاری بر میزان محصول بادام در پژوهشی دیگر نیز بررسی گردید. در این مطالعه تنش ملایم خشکی ایجاد شده در اثر اعمال کم‌آبیاری بوسیله پارامتر پتانسیل آب ساقه بررسی گردید. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که بعد از ۵ سال کاربرد کم‌آبیاری در باغ بادام مورد مطالعه، کاهش معنی‌داری در میزان تولید محصول بادام ایجاد نشده، به طور متوسط ۱۲/۷ سانتی‌متر آب درهر سال صرفه جویی شده است (Stewart *et al*., 2011). در پژوهشی دیگر توسط شکوهیان و همکاران (۱۳۹۴)، عکس العمل پایه‌های مختلف بادام به خشکی در راستای اصلاح پایه‌های بادام مقاوم به خشکی و نیز شناسایی نشانگرهای بیوشیمیایی مرتبط با فنوتیپ مقاومت به خشکی در بادام بررسی گردبد. نتایج بدست آمده از این پژوهش و پژوهش‌های مرتبط (Najafian *et al.,* 2008) نشان دهنده نقش کلیدی متابولیسم پرولین، قندهای محلول و پروتئین‌ها در عکس العمل تدافعی بادام به خشکی می‌باشد. هدف از اجرای این تحقیق، بررسی چگونگی حفظ عملکرد کمی و کیفی محصول بادام تحت تنش خشکی با مدیریت بهینه آب و باغ بود.

۲-مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی بادام مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال و بختیاری بر روی نهال‌های بادام شش ساله حاصل پیوند رقم تجاری شاهرود ۱۲ بر روی پایه رویشی GN از اسفند سال ۱۴۰۲ به مدت یک‌سال اجرا گردید. ابتدا باغ انتخاب شده به دو قطعه اصلی شامل قطعه شاهد (تحت شرایط مدیریت سنتی باغدار) و قطعه تیمار (تحت شرایط مدیریت با فنون نوین باغداری) تقسیم گردید. در قسمتی که شاهد در نظر گرفته شد، مدیریت باغ صرفاً بر اساس شیوه‌های باغداری مرسوم بدون به کارگیری تکنیک‌های اصولی به‌باغی نوین و قسمت دیگر که به عنوان قطعه تیمار در نظر گرفته شد، مدیریت باغ بر اساس به کارگیری شیوه‌های نوین به‌باغی انجام گرفت. در مطالعه حاضر، در تیمار آبیاری کامل، تأمین آب به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی برآورد شده در تمام مراحل رشدی فوق انجام گرفت، در حالی‌که در تیمار آبیاری کم، تأمین آب فقط به میزان ۵۰ درصد از نیاز آبی برآورد شده در آبیاری

انجام شد. پروژه در قالب طرح اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید و در هر تکرار (واحد آزمایشی) ۴ نهال بادام در نظر گرفته شد. بر این اساس در هر کرت فرعی با سه تکرار، ۲۴ نهال بادام و در هر کرت اصلی ۴۸ نهال بادام و در کل آزمایش ۴۸ نهال بادام بالغ میوه در نظر گرفته شد. کرت‌های اصلی شامل دو کرت اصلی یعنی کرت شاهد (تحت مدیریت به باغی باغدار)، کرت آزمایشی یا مدل (با اعمال مدیریت به‌باغی) و کرت‌های فرعی شامل دو سطح آبیاری یعنی آبیاری کامل قطره‌ای ۱۰۰ درصد ETC (crop evapotranspiration) و آبیاری کم به میزان ۵۰ درصد از ETC کل دوره رشد نهال. با استفاده از سامانه نیاز آبی کشور میزان نیاز آبی خالص برآورد شد و با توجه به راندمان آبیاری سیستم آبیاری قطره‌ای، آبیاری انجام گرفت. همچنین زمان آبیاری تیمار آبیاری کامل و آبیاری کم درکل دوره رشد نهال مساوی بود ولی تعداد قطره چکان‌ها در حالت دوم نصف بود. زمان اعمال تیمار از اردیبهشت ماه تا زمان برداشت میوه بود و آبیاری هر هفته انجام شد. در این تحقیق مقایسات مختلفی انجام شد که شامل: مقایسه روش آبیاری کم با روش آبیاری کامل نهال‌ها، مقایسه هر تیمار آبیاری در شرایط مدیریت به‌باغی و در شرایط مدیریت باغدار. مقایسات بر اساس اندازه‌گیری صفات و متغیرهای مختلف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی انجام شد. صفات مختلف مورد ارزیابی فیزیولوژیک عبارتند از: مقدار پرولین برگ، آب مصرف شده، کارایی مصرف آب، محتوای نسبی آب برگ(RWC). به منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) ابتدا وزن تر نمونه برگ (FW) گرفته شد و سپس نمونه را به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق داخل آب مقطر غوطه ور قرار داده و پس از این زمان وزن آماس نمونه (TW) خوانده شد. سپس نمونه‌ها ۴۸ ساعت درون آون (مدل memmert) با دمای ۷۵ درجه سلسیوس قرار گرفتند و وزن خشک (DW) به دست آمد و در فرمول زیر قرار گرفت.

$$RWC= [(FW -DW) / (TW -DW)] \times 100$$

صفات بیوشیمیایی برگ و میوه، بر اساس روش‌های استاندارد اندازه گیری گردیدند. برای اندازه‌گیری فسفر روش رنگ سنجی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل LKB ساخت کشور انگلیس و برای پتاسیم اندازه‌گیری توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل جن‌وی ساخت کشور انگلیس انجام شد. اندازه‌گیری عناصر میکرو شامل آهن، مس، روی و منگنز توسط روش هضم خشک با دستگاه جذب اتمی مدل پرکین AA400 ساخت آمریکا انجام شد. زمان نمونه‌گیری برگ در اواسط تیرماه از برگ‌های کامل توسعه یافته میانی شاخه یک‌ساله گرفته شد. صفات مرفولوژیکی و رویشی نهال بادام، صفات پومولوژیکی و زایشی و نیز صفات کمی و کیفی محصول بادام خصوصاً کیفیت مغز بادام شامل خواص کمی محصول بر اساس شیوه‌های توصیف شده توسط موسوی و همکاران (۱۳۸۸) در زمان تغییر رنگ غلاف میوه از سبز به زرد اندازه‌گیری شدند. طول و عرض تاج و طول شاخه فصل جاری توسط متر اندازه‌گیری شدند. همچنین قطر شاخه توسط کولیس دیجیتال اندازه‌گیری شد. این صفات پس از برداشت میوه اندازه‌گیری شدند. همچنین طول و عرض برگ توسط خط‌کش اندازه‌گیری شدند. همچنین در انتهای فصل زراعی، میزان عملکرد محصول بادام در هر نهال در دو قطعه آزمایشی مورد ارزیابی قرار گرفت. طول و قطر مغز توسط کولیس دیجیتال و وزن میوه توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شدند. آنالیز آماری نتایج شامل تجزیه واریانس (Anova) با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد.

۳- نتایج و بحث

از آنجایی که رشد یکی از حساس‌ترین فرآیندهای گیاهی نسبت به کاهش آب است، بنابراین کاهش رشد اولین واکنش گیاهان نسبت به تنش خشکی در بسیاری از گونه‌های گیاهی می‌باشد. در این پژوهش طول و عرض تاج، طول و قطر شاخه فصل جاری، طول و عرض برگ تحت تاثیر کم‌آبی، کاهش معنی‌داری داشتند (جدول ۱ و ۲). کاهش رشد تحت تأثیر تنش کم‌آبی در سیب (Treder *et al.,* 1997) و بادام (Fulton *et al.,* 2014) گزارش شده است. کم‌آبی با کاهش آماس سلولی، رشد طولی ساقه را کاهش می‌دهد (Condon, 2020). تأمین نشدن آب

مورد نیاز به‌دلیل کاهش فشار تورژسانس موجب کاهش محتوای آب سلول‌ها می‌شود و طویل شدن آن‌ها را با مشکل روبه رو می‌کند (Oliveira *et al.,* 2018). در اثر تنش خشکی، تبادلات روزنه‌ای کاهش یافته و موجب کاهش اسیمیلاسیون کربوهیدرات‌ها می‌شود که بر فاکتورهای رشدی اثرگذار می‌باشد (Martínez-García *et al.,* 2020). تنش آبی در گیاه سبب افزایش هورمون آبسزیک اسید شده که موجب کاهش رشد می‌گردد (Ahanger *et al.,* 2017). برگ‌ها در گیاهان تحت تنش کم‌آبیاری، کوچک و قطور می‌شوند. تنش کم آبی، موجب کاهش تعداد و سطح برگ می‌گردد و منجر به کاهش سطح جذب کننده نور و در نتیجه کاهش رشد می‌شود (Palasciano *et al.,* 2013). همچنین کاهش رشد گیاه در تنش کم آبی سبب عدم حفظ شیب پتانسیل آب بین نقطه رشد برگ و آوند چوبی شده، بنابراین نمی‌تواند آب‌رسانی به سلول‌های در حال رشد را حفظ کند (Khoyerdi *et al.,* 2016). کاهش رشد در واکنش به تنش کم‌آبی در ارقام مختلف بادام گزارش شده است (Gutiérrez-Gordillo *et al.,* 2020).

جدول ۳- تجزیه واریانس ویژگی‌های زایشی اندازه گیری شده.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول مغز	وزن مغز	درصد مغز	عملکرد
کرت اصلی (به‌باغی)	۱	۰/۰۰۰۸^{ns,1}	۰/۰۲^{ns}	۹/۹۰^{ns}	۱۲۰۳۳/۳^{ns}
کرت فرعی (آبیاری)	۱	۵/۴۶^{**,۲}	۰/۰۰۷^{ns}	۸/۱۶^{ns}	۳۹۶۰۳۳/۳**
اثر متقابل	۱	۰/۶۰^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۱۵/۶۴^{ns}	۳۹۶۰۳۳/۳^{ns}
خطا	۸	–	–	–	–
ضریب تغییرات		۲/۹۷	۶/۳۷	۸/۹۲	۱۸/۳۳

به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی[1,2]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات کرت فرعی بر صفات زایشی اندازه گیری شده.

		صفات			
		طول مغز (میلی‌متر)	وزن مغز (گرم)	درصد مغز (درصد)	عملکرد (گرم)
اثر کرت فرعی (آبیاری)	۱۰۰ درصد	۲۴/۸۱a[1]	۱/۱۳a	۳۰/۴۸a	۳۷۵۰a
	۵۰ درصد	۲۳/۴۶b	۱/۰۸a	۳۲/۱۳a	۲۱۰۳b

در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی[1]

در این پژوهش طول، قطر و عملکرد میوه تحت تأثیر کم آبی قرار گرفت و کم آبی سبب کاهش این موارد شد (جدول ۳ و۴). آبیاری سبب افزایش عملکرد در بادام شد (Prgomet *et al.,* 2025). همچنین همبستگی منفی بین تنش آبی، وزن و اندازه میوه بادام وجود داشت (Lipan *et al.,* 2020). دسترسی گیاه به آب منجر به افزایش رشد ریشه‌ها شده و سبب رشد بهتر برگ می‌گردد. این امر منجر به افزایش در اندازه میوه و بهبود عملکرد در میوه بادام می‌شود.

جدول ۳- تجزیه واریانس ویژگی‌های زایشی اندازه گیری شده.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		طول مغز	وزن مغز	درصد مغز	عملکرد
کرت اصلی (به‌باغی)	۱	۰/۰۰۰۸^{ns,1}	۰/۰۲^{ns}	۹/۹۰^{ns}	۱۲۰۳۳/۳^{ns}
کرت فرعی (آبیاری)	۱	۵/۴۶^{**,۲}	۰/۰۰۷^{ns}	۸/۱۶^{ns}	۳۹۶۰۳۳/۳**
اثر متقابل	۱	۰/۶۰^{ns}	۰/۰۰۰۸^{ns}	۱۵/۶۴^{ns}	۳۹۶۰۳۳/۳^{ns}
خطا	۸	–	–	–	–
ضریب تغییرات		۲/۹۷	۶/۳۷	۸/۹۲	۱۸/۳۳

به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی[1,2]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات کرت فرعی بر صفات زایشی اندازه گیری شده.

		صفات			
		طول مغز (میلی‌متر)	وزن مغز (گرم)	درصد مغز (درصد)	عملکرد (گرم)
اثر کرت فرعی (آبیاری)	۱۰۰ درصد	۲۴/۸۱a[1]	۱/۱۳a	۳۰/۴۸a	۳۷۵۰a
	۵۰ درصد	۲۳/۴۶b	۱/۰۸a	۳۲/۱۳a	۲۱۰۳b

در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی[1]

نتایج به‌دست آمده از این مطالعه نشان داده است که کم‌آبی موجب کاهش فسفر، آهن، منگنز، روی و مس در برگ‌های بادام شد و از طرف دیگر مقدار پتاسیم در گیاهان رشد یافته تحت کم آبی بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود (جدول ۵ و۶). آهن، منگنز، روی و مس از عناصر مهم درگیر در واکنش‌های اکسایش-احیا می‌باشند. در شرایط کم آبی، کاهش دسترسی گیاه به آب منجر به کاهش رشد ریشه‌ها شده و منجر به اختلالات تغذیه‌ای در گیاه می‌گردند (Martínez-García *et al.*, 2020). کاهش فسفر در سطوح بالای تنش کم‌آبی می‌تواند به علت کاهش تراوایی ریشه گیاه و کاهش جذب این عناصر به دلیل رشد کم ریشه‌ها به دلیل دسترسی اندک به آب باشد (Bogati and Walczak, 2022). همچنین کمبود آب سبب ایجاد دستجات آوندی کمتر و با قطر کوچکتری می‌شوند که این شرایط میزان جذب و تجمع عناصر غذایی را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهد (Marschner, 2011). پتاسیم نقش مهمی در حفظ آماس سلولی، تنظیم حرکت روزنه‌ها و فعال کردن آنزیم‌ها دارد. افزایش مقدار پتاسیم در شرایط کم آبی ممکن است واکنش دفاعی گیاه جهت حفظ آماس سلولی و ادامه حیات گیاه باشد (Isaakidis *et al.*, 2004). تغییر مقدار عناصر غذایی تحت تنش کم‌آبی در نهال‌های بادام توسط نیکبخت (۲۰۱۹) گزارش شده است.

جدول ۵-تجزیه واریانس عناصر غذایی برگ اندازه گیری شده.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فسفر	پتاسیم	مس	روی	آهن	منگنز
کرت اصلی (به‌باغی)	۱	۴۷۸/۲۹ ns	۳۸۲/۶۱ ns	۰/۰۱۱ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۰۳ ns	۱۳/۰۲ ns
کرت فرعی (آبیاری)	۱	۱۴۸۸۶/۷**	۳۴۳۸۵/۵۳**	۰/۰۵**	۴/۳۶**	۲/۲۳**	۲۳۵۴/۸۰**
اثر متقابل	۱	۱۰۴/۶۶ ns	۲۱۲/۱۸ ns	۰/۰۰۵ ns	۰/۱۵ ns	۰/۰۰۸ ns	۰/۱۰ ns
خطا	۸	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات		۱۰/۵۳	۷/۵۳	۷/۷۸	۲۴/۶۸	۹/۵۹	۶/۴۰

[1,2]به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی

جدول۶- مقایسه میانگین اثرات کرت فرعی بر عناصر غذایی برگ اندازه گیری شده.

		صفات					
		فسفر (میلی گرم/۱۰۰ گرم)	پتاسیم (میلی گرم/۱۰۰ گرم)	مس (میلی گرم/۱۰۰) گرم)	روی (میلی گرم/۱۰۰ گرم)	آهن (میلی گرم/۱۰۰ گرم)	منگنز (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم)
اثر کرت فرعی (آبیاری)	۱۰۰ درصد	۳۵۰/۹۱ a[1]	۴۷۰/۱۵ a	۰/۹۷ a	۲/۶۵ a	۲/۸۲ a	۲۲۰/۷۸ a
	۵۰ درصد	۲۸۰/۴۶b	۵۷۷/۲۱ b	۰/۸۴ b	۱/۴۴ b	۱/۹۶ b	۱۹۲/۷۶ b

[1]در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی

پاسخ‌های متعدد فیزیولوژیکی از جمله تغییر در وضعیت آب و بازده فتوسنتزی در مواجهه با تنش کم‌آبی در گیاهان رخ می‌دهد (Salehi-Lisar *et al.*, 2020). نتایج این تحقیق نشان داد که کم‌آبی سبب افزایش پرولین در برگ و کاهش آب مصرف شده در برگ شد (جدول۷ و۸). کاهش دسترسی گیاه به آب قابل دسترس در محیط خاک موجب افزایش فشار اسمزی در منطقه ریشه می‌شود و در نتیجه میزان آب قابل دسترس برای گیاه را کاهش می‌دهد. محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل اسمزی در بادام با افزایش تنش آبی کاهش یافت (Álvarez *et al.*, 2020). محتوای نسبی آب برگ با هدایت روزنه‌ای همبستگی داشته و کاهش مقدار آن در اثر خشکی، منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و جذب دی‌اکسیدکربن شده و در نهایت سبب کاهش فتوسنتز می‌گردد. در شرایط نامساعد محیطی ترکیبات مختلفی در گیاهان جهت ایجاد تعادل اسمزی و حفظ رشد گیاه سنتز و تجمع می‌یابند. قندها و ترکیبات اسمولیتی مانند پرولین از جمله مهم‌ترین ترکیباتی هستند که تحت تنش خشکی در گیاهان افزایش می‌یابند (Huang *et al.*, 2020). پرولین دارای اثر مستقیم در ثبات بخشیدن به ماکرومولکول‌ها و لایه‌های هیدراسیون آن‌ها داشته

و همچنین به علت خواص آنتی‌اکسیدانی خود یک عمل حفاظتی غیرمستقیم نیز دارد. تجمع پرولین، گیاه را قادر می‌سازد که تنش اسموتیک ناشی از کم‌آبی را تا حدی برطرف نماید. همچنین وقتی که گیاه در پتانسیل آبی پایین ناشی از تجمع بالای غلظت نمک در محیط با کمبود آب قرار می‌گیرد، پرولین به عنوان یک ذخیره انرژی و نیتروژن به کار می‌رود.

جدول ۷- تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیولوژیک اندازه گیری شده.

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		پرولین	محتوای نسبی آب برگ	آب مصرف شده	کارایی مصرف آب
کرت اصلی (به باغی)	۱	۳^{ns,1}	۴/۳۲^{ns}	۰	۰/۴۹^{ns}
کرت فرعی (آبیاری)	۱	۶۷۵**^{,2}	۲۰۹۰/۸۸**	۹۷۹۲۱۳۳/۳**	۴/۵۶ ^{ns}
اثر متقابل	۱	۵۶/۳۳^{ns}	۳۵/۳۶^{ns}	۰	۰/۰۲^{ns}
خطا	۸	-	-	-	-
ضریب تغییرات		۶/۶۰	۱۷/۴۵	۳/۷۶	۳/۷۶

[1,2]به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات کرت فرعی بر صفات فیزیولوژیک اندازه گیری شده.

تیمار		صفات			
		پرولین (میکرو گرم بر گرم)	آب برگ (درصد)	آب مصرف شده (متر مکب در هکتار)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)
اثر کرت فرعی (آبیاری)	۱۰۰ درصد	۷۷/۳۳b[1]	۶۸/۴۱a	۳۲۲۶/۶a	۰/۵۷a
	۵۰ درصد	۹۲/۳۳a	۴۲/۰۱b	۱۴۲۰b	۰/۷۳a

[1]در هر ستون حروف مشابه نشان دهنده عدم معنی‌داری در سطح یک درصد آزمون توکی

۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد طول تاج، عرض تاج، طول و قطر شاخه فصل جاری، طول و عرض برگ تحت تأثیر کم‌آبی، کاهش معنی‌داری داشتند. همچنین طول، قطر میوه و عملکرد میوه تحت تأثیر کم‌آبی قرار گرفت و کم‌آبی سبب کاهش این موارد شد. کم‌آبی موجب کاهش فسفر، آهن، منگنز، روی و مس در برگ‌های بادام شد و از طرف دیگر مقدار پتاسیم در گیاهان رشد یافته تحت کم‌آبی بیشتر از شرایط نرمال آبیاری بود. کم‌آبی سبب افزایش پرولین در برگ و کاهش آب مصرف شده در برگ شد. نتایج این پروژه نشان داد که کم‌آبیاری سبب کاهش فاکتورهای رویشی، زایشی و همچنین عناصر غذایی در برگ همچنین سبب افزایش پرولین در برگ می‌شود.

تضاد و تعارض منافع- نویسندگان هر گونه تعارض و تضاد منافع اعم از تجاری و غیر تجاری و شخصی را که در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم با اثر منتشرشده است رد می‌نمایند.

فهرست منابع

حسنی، ق.، نورجو ا. و هناره، م. (۱۳۸۸). اثر پایه و مقادیر مختلف آبیاری بر عملکرد و کیفیت میوه سیب رقم گلدن دلیشز. *مجله به زراعی نهال و بذر (نهال و بذر)*، *۲۵*-۲(۱)، ۵۱- ۶۲ .

رضوی، ف. (۱۳۹۶). تنش خشکی و مکانیسم های دفاعی درختان میوه- راهکارهای حفاظتی از صدمات خشکی در باغ‌های میوه .نشریه فنی شماره ۵۳۱۱۸. مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی ، سازمان تحقیقات ، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت جهاد کشاورزی، ۳۵ صفحه.

شکوهیان، ع. ا.، داوری نژاد، غ.، تهرانی فر، ع.، رسول‌زاده، ع. و ایمانی ع. (۱۳۹۴). ارزیابی اثرات تنش آبی و ریز موجودات مفید بر خصوصیات بیوشیمیایی پایه‌های رویشی بادام. *مجله پژوهش‌های گیاهی*، *۲۸*(۳)، ۵۴۹-۵۶۰.

علی محمدی، ر.، موسوی، س. ا.، تاتاری، م. و فتاحی، ا. (۱۳۹۱). اثر کم آبیاری در مراحل رشد و توسعه میوه بر میزان عناصر و عملکرد بادام. *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، *۲۶*(۲)، ۱۴۳-۱۵۹.

غلامی، ر. و حاجی امیری، ا. م. (۱۳۹۷). اثر کسر آبیاری تنظیم شده بر ویژگی‌های رویشی، میوه‌شناختی و عملکردی زیتون رقم آمفی‌سیس. *نشریه علمی تولید گیاهی*، *۵*(۱)، ۶۳-۷۲.

مقصودی، ش. (۱۳۸۹). بادام (کشاورزی، صنعت، تغذیه و درمان)، نشر علم کشاورزی ایران، ۱۳۳ صفحه.

موسوی، س. ا.، ر.، علیمحمدی، و تاتاری، م. (۱۳۹۲). تاثیر کم‌آبیاری در دوره پس از برداشت روی گلدهی، تشکیل میوه و عملکرد سال بعد درختان بادام رقم"مامایی". مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم باغبانی ایران، همدان.

موسوی، س. ا.، علی محمدی، ر. و تاتاری، م. (۱۳۸۸). اثر کم آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیکی رشد و نمو میوه بر عملکرد بادام رقم مامایی. *مجله به زراعی نهال و بذر (نهال و بذر)*، *۲۵*(۲)، ۲۰۷-۲۲۷.

Ahanger, M. A., Akram, N. A., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2017). Signal transduction and biotechnology in response to environmental stresses. *Biologia Plantarum*, *61*(3), 401-416.

Álvarez, S., Martín, H., Barajas, E., Rubio, J. A., & Vivaldi, G. A. (2020). Rootstock effects on water relations of young almond trees (cv. Soleta) when subjected to water stress and rehydration, *Water*, *12*(12), 3319.

Bogati, K., & Walczak, M. (2022). The impact of drought stress on soil microbial community, enzyme activities and plants. *Agronomy*, *12*(1), 189.

Cal, A. J., Sanciangco, M., Rebolledo, M. C., Luquet, D., Torres, R. O., McNally, K. L., & Henry, A. (2019). Leaf morphology, rather than plant water status, underlies genetic variation of rice leaf rolling under drought. *Plant, cell & environment*, *42*(5), 1532-1544.

Condon, A. G. (2020). Drying times: plant traits to improve crop water use efficiency and yield. *Journal of Experimental Botany*, *71*(7), 2239-2252.

Khoyerdi, F. F., Shamshiri, M. H., & Estaji, A. (2016). Changes in some physiological and osmotic parameters of several pistachio genotypes under drought stress. *Scientia horticulturae*, *198*, 44-51.

Nikbakht, J. (2019). Investigation on the changes of some biochemical traits of almond genotypes leaves under drought stress on the GN15 rootstock. *Journal of Plant Process and Function*, *8*(29), 15-30.

Fulton, A., Grant, J., Buchner, R., & Connell, J. (2014). Using the pressure chamber for irrigation management in walnut, almond and prune.

Goldhamer, D. A., Viveros, M., & Salinas, M. (2006). Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*, *24*(2), 101-114.

Gutiérrez-Gordillo, S., Durán Zuazo, V. H., Hernández-Santana, V., Ferrera Gil, F., García Escalera, A., Amores-Agüera, J. J., & García-Tejero, I. F. (2020). Cultivar dependent impact on yield and its components of young almond trees under sustained-deficit irrigation in semi-arid environments. *Agronomy*, *10*(5), 733.

Huang, Y. Y., Deng, M. H., Peng, C. X., & Wen, J. F. (2020). Studies on the response of lily petal antioxidant enzyme system to drought stress. 788-796.

Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2006). Performance of various water stress indicators for prediction of fruit size response to deficit irrigation in plum. *Agricultural Water Management*, *83*(1-2), 173-180.

Isaakidis, A., Sotiropoulos, T., Almaliotis, D., Therios, I., & Stylianidis, D. (2004). Response to severe water stress of the almond (Prunus amygdalus)'Ferragnès' grafted on eight rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, *32*(4), 355-362.

Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Hernández, F., Sendra, E., Corell, M., Vázquez-Araújo, L., ... & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2020). Long-term correlation between water deficit and quality markers in hydrosostainable almonds. *Agronomy*, *10*(10), 1470.

Marschner, H. (2012). Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.

Martínez-García, P. J., Hartung, J., Pérez de los Cobos, F., Martínez-García, P., Jalili, S., Sánchez-Roldán, J. M., ... & Martínez-Gómez, P. (2020). Temporal response to drought stress in several Prunus rootstocks and wild species. *Agronomy*, *10*(9), 1383.

Najafian, S. H., Rahemi, M., & Tavallali, V. (2008). Effect of salinity on tolerance of two bitter almond rootstocks.

Oliveira, I., Meyer, A., Afonso, S., & Gonçalves, B. (2018). Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional Prunus dulcis (Mill.) cultivars under rain-fed conditions. *Scientia Horticulturae*, *229*, 226-232.

Palasciano, M., Logoluso, V., & Lipari, E. (2013, May). Differences in drought tolerance in almond cultivars grown in Apulia region (Southeast Italy). In *VI International Symposium on Almonds and Pistachios*, *1028*, 319-324.

Prgomet, I., Pascual-Seva, N., Morais, M. C., Aires, A., Barreales, D., Ribeiro, A. C., ... & Gonçalves, B. (2020). Physiological and biochemical performance of almond trees under deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*, *261*, 108990.

Salehi-Lisar, S. Y., & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2020). Agronomic crop responses and tolerance to drought stress. In *Agronomic Crops: Volume 3: Stress Responses and Tolerance* (pp. 63-91). Singapore: Springer Singapore.

Stewart, W. L., Fulton, A. E., Krueger, W. H., Lampinen, B. D., & Shackel, K. A. (2011). Regulated deficit irrigation reduces water use of almonds without affecting yield. *California Agriculture*, *65*(2).

Treder, W., Konopacki, P., & Mika, A. (1996, September). Duration of water stress and its influence on the growth of nursery apple trees planted in containers under plastic tunnel conditions. In *II International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 449* (pp. 541-544).